

大学生の「物質の密度」理解度調査と それに基づくその学習支援の方向性

斎 藤 裕

Research on the Level of Understanding of "Density of Materials" for College Students and the Directionality of Learning Support on which it is Based

Yutaka SAITO

問題と目的

物質「密度」は、『内包量』と言われるものである。『内包量』は「長さ」や「重さ」、「体積」に代表される『外延量』と対置されるもので、後者は「モノの大きさ」を表す量として、前者は「モノの強さ」を表す量として規定することができる。内包量は、外延量のように2つの量を併せても“足し算”にはならない。内包量の多くは、2つの外延量の“商”で表されることが多い。つまり、内包量と2つの外延量とは、「乗除」という演算で関係づけられているのである。その意味で、内包量は、「関係（関数）概念」と言ってもよいであろう。このような「内包量」は、小学校・算数において「異種の二つの量の割合としてとらえられる数量について、その比べ方や表し方を理解し、それを用いることができるようにする」（学習指導要領第3節算数—第6学年）という表現で、その学習が記載されている。具体的には「単位量当たりの考え」が導入されて、「人口密度」や「速さ」が学習対象となっており、「速さ」について「速さの意味及び表し方について理解するとともに、速さの求め方を考え、それを求めること」と規定されている。また、「物質密度」は、中学校に入って、理科第1分野で学ぶことになっている。『中学校学習指導要領 理科【第1分野】（2）身の回りの物質（ア）身の回りの

物質の性質を様々な方法で調べ、物質には密度や電気の通りやすさ、加熱したときの変化など固有の性質と共通の性質があることを見出す』と記載され、融点や沸点と同様な物質の特質として学習することが見込まれている。「密度」は、小学校でも中学校でも登場することになるが、言葉として同じでも、その意味合いは異なるものである。人口密度は「分離量／連続量」という形態をとるものであるし、物質密度は「連続量／連続量」という形態をとるものである。永瀬（2003）は、前者を、いわゆる“Density”と区別し、“Crowdedness”＜松田・永瀬ら（2000）はこれを『混みぐあい』と呼称している＞と表している。「物質密度」は、目で見える形で示すことが難しいのに対し、「混みぐあい」は、その点は容易であるため、前者の方がより難しい課題だと思われる。

2種の「密度」の学習を含め、「速さ」など、内包量の学習が難しいことは従来から指摘されている。いわゆる「内包量の（非）保存」が象徴的である。「内包量の保存」とは「全体量・土台量の多少（大小）に関係なく、当該内包量は一定である」という理解を指している。このような理解が難しいと言うのである（布施川・麻柄 1989 麻柄 1992）。麻柄（1992）は、人口密度（実際は、畑に植えられた球根密度）と物質密度を対象に、小学校6年生の理解度を

調査し、速さも含めて、内包量について「土台量が大きいほど、内包量も大きくなる」という誤った認識をしている者が多いという結果を得ている。また、佐藤（1991）は、小学5年生を対象に「密度」理解に関して調査を行った結果「児童においては、少なくとも『重さ』という言葉の使用が多義的で、『質量』と『密度』が未分化な状態にあることが推測される」としている。

「内包量」は単に関数概念という意味だけではなく、事物の質を表す量であることを考えれば、物質「密度」をその物体の『特質』として認識できているかも、理科教育という点で見ても、重要である。前出の佐藤が指摘しているのだが、彼は物質密度概念の獲得の基本として、①物質の固有性として密度が認識されること（質を表す量としての理解—筆者注）、②密度・重さ・体積の3つの量の関係が理解できる—2つの量が既知の時に残りの未知の量を求めることができる—こと（関数概念として3者の操作可能性—筆者注）、を挙げている。

このような観点から、斎藤は、物質密度の質的理解とは、「密度が小さいモノは大きいモノに浮く。浮くか沈むかはそのモノの量（重さ・体積）によって決まるのではなく、密度によって決まる」ということが理解されているということと考え、大学生がどの程度物質密度を理解しているのかについて、『用法』『保存』『2物質間の浮き沈み判断』『概念名辞』の問題を用意し、調査を行った（2003）。その結果、大学生であっても、密度と他の量（体積・重さ）との次元間弁別ができておらず、「モノの量（重さや体積）に関係なく密度の小さいモノが密度の大きいモノの上になる」という定性的理解が不十分であることが明らかとなった。この調査は、調査対象学生が文系であったため、「密度の学習は難しい」ことを考慮し、①密度は物質固有の性質であること、②密度の求め方、の2点が文章教材で説明され、その後、問題に出てくる物質の＜密度表＞を参考に課題に取り組む方式となっている。そのため、この結果は、学生らのこれまでの学習成果のみを反映したものではない。密度について説明されてもその効果が殆ど見られないという点では、この調査結果

も十分な意味があると言えるが、大学生が「物質密度」に関してどのような理解状態にあるのかを知るには、やはり、全く予備知識がない状態で調査する必要があるだろう。その意味で、今回は、学生に何ら予備知識を与えず、物質密度の関する外延的課題（2物質の上下—浮き沈み—問題）と内包的課題（外延課題判断理由—言辭的理解問題）を課して、物質密度に関する理解程度を調べることを、第一の目的としたい。

また、今回、以下の2点についても、併せて検討したい。

まず第一は、物質密度の学習支援方略の糸口を探るという点である。前出の麻柄は、物質密度の学習方略として、「内包量の保存」という観点から、①内包量は「全体量÷土台量」から算出されてはじめて存在する量ではなくて、土台量の大きさにかかわらず、初めから存在している量であることを強調すること、②学習の初期には、土台量や全体量とは異なる外延量によって暫定的に内包量を定義（説明）すること、の2点をあげ、物質密度について、＜1＞ぎっしり・すかすか等の感覚的表現の使用、＜2＞物質密度をとりの粒までの距離として定義する、という方略を提案している。確かに、物質密度は、その物質固有の性質であり、単に「（その）物質1立方cmの重さを、その物質の密度と言う」というような定量的定義は、『密度』の表示方法を説明しているにすぎない。しかし、単位当たり量として密度を操作的に策定できることも、定量的な理解への一步として重要であろう。また、同じ「密度」でも、“Crowdedness”と“Density”とは異なるものである。麻柄の提案は、物質密度について前者から後者へと繋いでいこうという提案とも読めるが、この「変換」は容易でないという指摘もある（Carey&Spelke 1994）。また、佐藤は、小学生の実践を通して、物質密度の理解を促進させるのは「（物質）密度と重さ・体積との次元間弁別の徹底」が必要であると指摘し、「こんなにならざるの水でもたくさんの油の中に沈む」などの「体積（＝重さ）の大きな変化を伴う発問」を提案している。

これらの指摘を総合的に判断し、＜密度について＞という2種類のテキストを用意する。1

つは、「物質密度」について、その物質固有の性質であることを強調しつつ（定性的理解の促進）、その求め方（単位当たり量としての操作的定義）も併せて記載したもの（テキストA；性質・操作併用型テキスト）である。もう1つは、佐藤の提案を受け、テキストAに、「その物質の量（体積・重さ）を大きく変化させても、その物質の『密度』は変わらない」という内容を付与し、操作（単位当たり量計算）を伴った「密度と量（体積・重さ）との次元間弁別」の強調も行ったもの（テキストB；性質・操作・次元間弁別強調型テキスト）である。これらのテキスト読解後、「物質密度」に関する理解度調査を行い、教授方略の方向性を調べたい。

第二には、学習するルールの操作性と信頼性の問題である。立木・伏見（2006 2007）は、論理操作性と信頼性の関係に着目した結果、教授内容を受けて適切な論理操作が可能となっても、その内容自体には疑問を持ち続けている（自己の所持する誤概念は維持し続ける）者の存在を数多く確認している。つまり、事後テストにおいて正答ができたとしても、それは見かけ上（単なる論理操作の結果）のもので、自分自身の考えて正答できた訳ではない可能性があるということである。彼らは、実験材料に「金属」を選んで、その性質を教授内容としているが、「物質密度」でも同じことが言えるのであろうか。示されるルールに対する信頼度と論理操作性とは、どのような関係にあるのだろうか。この点も、今回の調査対象としたい。

方法

（1）調査対象者

県立新潟女子短期大学生活科学科生活福祉専攻1・2年生；A群（テキストA読解者）－41名。B群（テキストB読解者）－46名。

（2）手続き

I冊子＜「既有知識調査問題」→「テキスト」（読解）＞を20分で行い、回収後、II冊子（密度表付）＜「事後問題」→「従ルール問題」→「ルール信頼度評定」＞を、30分以内で行う。

（3）問題及び評定方法

①既有知識調査問題；浮き沈み（固体・液体各2種）問題（4問）及び浮き沈み判断基準選択

問題。浮き沈み（固体・液体各2種）問題は、密度の大小と浮き沈み現象とが対応づけられるか否かを調べるものである。固体・液体とも、まず事実として「浮き沈み」を示し、その後、浮いている物体や沈んでいる物体の量を変化させ、その「浮き沈み」（液体の場合は上下関係）を問うものとなっている。この問題群は、密度と他の量（重さ・体積）との次元間弁別ができているか否かを問うものと言えよう。浮き沈み判断基準選択問題は、いわゆる『概念名辞（内包）問題』である。概念とは、教育心理学新辞典（1982）によれば「個々の事象の特殊性を捨象し、共通性を抽象して作り上げられたもの—これに属するか否かを規定する共通の特性をその概念の内包と言い、概念の事例の集合を外延と言う」と定義されている。したがって、ある概念が、その人の中でどのような状態にあるのかを調べるためには、我々は概念の外延と内包、両者を調べる必要があると考える。その意味から、（物質）密度概念の「内包」を確認する1つの手段として「浮き沈み」の決定要因について名辞選択的に問う（モノの性質—事前段階なので「密度」という言葉は使わない—によって決まるのか・大きさや量によって決まるのか・両者によって決まるのか、の3択）こととする。

②事後問題；浮き沈み問題（固体・液体—既知・未知）各4問（計8問）、浮き沈み判断基準選択問題及び用法問題（第1・2・3）3問。浮き沈み問題は、既有知識調査同様、物質の量の変化に伴う浮き沈み判断（次元間弁別）を問うことがねらいであるが、密度の“数値”から2物質間の上下関係（浮き沈みを含む）を判断できるか否かも重要と考え、まず配布された密度表を手がかりに浮き沈みを判断し、その後、物質の量を変化させて、浮き沈みがどうなるかを問う形式となっている。浮き沈み判断基準選択問題は、既有知識調査問題と同じ3択であるが、テキスト読解後なので、「性質」ではなく「密度」という言葉となっている。用法問題であるが、前述したように、「密度」とそれを導く2つに外延量（「重さ」「体積」）との関係の理解は、密度概念獲得において重要な要素と考える。2つの量が既知の時に、残りの未知の量を求めることができることも、「密度」理解の

重要な要素であろう。そのような観点に立ち、テキストでは密度の求め方（単位量当たり計算としての操作的定義）や重さ・体積・密度の3者関係も明確に示している。事後では、この点の理解度も調べることにしたい。

③従ルール問題；「2物質間の浮き沈みに関するルール」が提示され、それに従って、続く問題に解答するよう指示される問題群である。浮き沈み問題9問、内包量の保存問題（固体・液体）2問、密度一文（5文）正誤問題一及び浮き沈み決め手選択問題、で構成されている。浮き沈み問題は、示される物質が事後問題とは異なっているが、出題形式は同様なものである。また、ここでは、「内包量の保存」についても問うことになる。麻柄が言うように、内包量の保存問題は「土台量（あるいは全体量）の多少にかかわらず、当該内包量の“強さ”は一定である」という内包量の基本性質を調べる1つの手法であろう。その意味から、ここで、この問題を問うことにする。従ルール問題では、概念内包の調査課題として事前・事後と同じ「名辞問題」だけではなく、テキストの理解度や密度に関する「単位当たり量的」理解についても、併せて「文・正誤問題」として出題している。この2種の問題で、物質密度に関する概念内包の理解度を測ることにしたい。

④ルール信用度評定；これは、一番最後に問う内容である。浮き沈みと物質密度の関係性のルールに関して、その信用度をパーセントで評定することを求めている。ここにおいて、これまでの「浮き沈みの事例判断」や「名辞理解」が本人のルールに対する信頼的判断によるものなのか、ただ単に論理的に従っていただけなのか、が測られることになる。

（4）テキスト内容

テキストは、＜密度について＞というタイトルのもので、A・B2種あり、両者ともA4一枚である。被験者は、既有知識調査問題後、連続的にその文章を読解することが求められる。両者とも、示される事例は“銀”“プラチナ”であるが、そこで述べられる内容が、前述したように異なっている。Aタイプで

は、密度について、その性質（物質固有なものであること）とその求め方（単位当たり量としての操作的定義）が述べられ、密度・体積・重さの3者関係も併せて説明されている。Bタイプでは、Aタイプの内容に加え、“銀”を事例に、体積・重さの変化（小・大）が示され、それでも密度は一定であることが説明されている。量と密度の次元間弁別が強調されたものとなっている。これらの文章を読解後、被験者は、事後問題等を解いていくことになる。

結果と考察

（1）既有知識調査問題

この問題は、被験者である大学生が物質密度に関してどのような知識を持っているのか調べる問題である。2種のテキスト読解を予定しているため2群に分けて調査を行ったが、両群にこの段階においては何ら有意な差は見られなかった。等質な集団とみなし、学生全体として議論する。

Table 0-1 事前-浮き沈み問題正答率

問い	正答率 (%)
Q1(鉄-極小)	83
Q2(木;松-巨大)	78
Q3(サラダ油-多量)	95
Q4(水銀-微量)	86

Table 0-2 浮き沈みに関する事前判断

判断基準	人数 (%)
大きさや量	3 (3)
密度	58 (67)
大きさや量と密度	26 (30)
合計	87

Table 1 事前一貫正答者 × 事前判断

浮き沈み\事前判断	量	密度	量と密度	計
一貫正答者	1	44	6	51
非一貫正答者	2	14	20	36
計	3	58	26	87

Table 0 に問い毎の正答率を示す。2 物質間の浮き沈み（上下）判断であるが、個別の正答率自体はさほど低くない。最も低い「木（松）」でも“78%”の正答率である。しかし、判断理由を見ると、「物質密度」が想定される“モノの「性質」”を挙げた者は7割に満たない。個別事例の浮き沈みは正答し得ても、正しい判断基準に基づいた者は少ないと思われる。それは、「浮き沈みについて一貫して正答し得たか否か」と判断基準との関係で、より明らかとなる（Table 1）。これを見ると、一貫して浮き沈み判断に正答し得たものは、84名中51名に止まっており、6割にも満たないことがわかる。また、浮き沈み課題に一貫して正答しかつその判断基準として“モノの「性質」”を挙げた者は、44名（57%）にまで減少してしまっている。確かに、一貫正答者のうち86%（44/51）が、判断基準として「密度」（モノの「性質」）を挙げている。一貫して正答できれば、やはり正しい判断基準を持っている者が多いと考えられる。しかし、それは、全体の約50%（44/87）に過ぎないのである。非一貫者で見れば、56%（20/36）が密度と量の両者を浮き沈みに決定要因と考えていることがわかる。そのモノの量（重さ・体積）のみで「浮き沈み」を判断はしないが、「密度」も含めて、これらの関係性の中でそれが決まると考えている者が2割以上存在する（20/87）ことが明らかとなった。「密度と量（重さ・体積）との未分化性」が残ったままの大学生が一定数いることが、今回も確認されたと言えよう。

（2）事後問題

Table 2 は、浮き沈み問題における A・B 群の解答結果である。これを見ると、個別事例ごとの正答率も、一貫正答者数でも、両群に有意な差は見られない。量を変化させた後の浮き沈み判断の個別問題正答率や一貫正答者数において、B 群の方がやや良いようであるが、統計的に有意なほどの差ではない。まず『密度表』が提示され、“水”との関係性＜浮き沈み（固体）・上下関係（液体）＞を問われるのであるが、未知が想定される物質（ポリプロピレンとクレオソート油）も、正答率は9割を超えている。『密度表』からの数値の読み取りは、両群とも

Table 2-1 事後一浮き沈み問題正答率

物質	変化	群	正答率	
			中	→ 変化
銀	小	A	95	→ 83
		B	98	→ 89
クレオソート油		A	98	→ 88
		B	91	→ 87
ポリプロピレン	大	A	98	→ 88
		B	93	→ 96
灯油		A	100	→ 78
		B	98	→ 89

Table 2-2 事後一浮き沈み問題一貫正答者数

群	一貫正答者	非一貫正答者	計
A	26	15	41
B	36	10	46
計	62	25	87

十分にできていると考えられる。また、ポイントとなる「量の変化」後でも、その方向に関係なく、正答率が大きく落ちることは見られていない（どの問題も、確かにやや正答率は落ちるが、これも統計的に有意ではない）。この問題群に関して一貫して正答した者の割合は、A 群で63%（26/41）、B 群で78%（36/46）である。テキスト読解前段階では、A 群54%（22/41）、B 群（29/46）であったが、そのことから比べれば、両群とも、一貫正答者数が増えていることがわかる。

しかし、判断基準選択問題では、A・B 群に明白な差が見られる。Table 3 は、両群の浮き沈み判断理由の選択結果を見たものであるが、適切である「密度」を選択した者の割合は、A 群で78%（32/41）なのに対し、B 群は96%（44/46）にまで達している。個別事例の浮き沈み判断では不明瞭だった差が、この問題において顕在化している（カイ二乗値；6.08 $p < .05$ ）。テキスト B は、量と密度との次元間弁別を強調するために、「微小・極大な量に変化させても、その物質の密度は変わらない」ということを、

Table 3 事後問題一浮き沈み判断理由

群\判断	量	密度	量と密度	計
A	0	32	9	41
B	0	44	2	46
計	0	76	11	87

自由度 有意確率 (両側)

カイ2乗値: 6.08 1 0.014

Table 4 「用法」正答率

群	第1用法	第2用法	第3用法
A	90	95	29
B	91	93	37

『単位当たり量』的計算を示しながらの説明を加えたものであるが、そこに示される“求式”の繰り返しの説明がこの正答率の差をもたらしたのではないと思われる。それは、用法問題の結果 (Table 4) が示している。これを見ると、どの問題でも両群に差は見られない。両群共通して第1・2用法の正答率が高く、第3用法の正答率が低くなっている。第3用法は、説明された「密度の単位当たり量計算」である第1用法から2度の式変形操作が求められ、3用法の中で最も難しいものである。それは、これまでも確認されてきている。(斎藤 2002)。従来の結果が、今回も群差なく見られたのである。テキストBは第1用法が強調されたものとも言えるが、それは第3用法にはあまり効果を与えないと言えよう。その意味では、“用法”的レベルではなく、「密度と重さ・体積との次元間弁別」強調方略が、B群において「物質密度」概念の内包の充実をもたらしたのではないだろうか。この方略が付け加わっていないテキストを使用したA群は、“事例”的に「浮き沈み判断」を下しているように見えるが、それは、示された表の数値を見ての機械的な当てはめ作業になっているのであって、内心は納得し切れていないのではないだろうか。

そのことは、「従ルール問題」・「ルール信頼度評定」で、より明白となる。

(3) 従ルール問題とルール信用度評定
 従ルール問題は、「浮いたり (上になったり)、沈んだり (下になったり) するのは、そのモノの『密度』によって決まっている」というルールが提示され、それに従って解くことが問題である。その結果を Table 5-8 に示す。

個別の浮き沈み問題では、どの物質でも、その変化の方向や既知度に関係なく、両群とも高い正答率である。ここでは、“水”ではなく“アルコール”での浮き沈みが問われる問題 (ロウとアルコールでの浮き沈み判断) も入っているが、その問題も、両群とも9割以上の正答率である。個別レベルでは事後と同じ結果と言えるが、一貫正答者数を見ると、事後とは異なり、

Table 5-1 従ルール;浮き沈み問題正答率

物質	変化	群	正答率	
			中	→ 変化
ポリスチレン	小	A	96	→ 91
		B	95	→ 85
ミルハン油		A	100	→ 93
		B	98	→ 85
ロウ	大	A	96	→ 96
		B	95	→ 90
ニス		A	98	→ 98
		B	100	→ 85
ロウ in アルコール		A	93	
		B	93	

Table 5-2 従ルール問題;群 × 浮き沈み問題一貫正答

群\浮き沈み問題	一貫正答者	非一貫正答者	計
A	26	15	41
B	38	8	46
計	64	23	87

自由度 有意確率 (両側)

カイ2乗: 4.12 1 0.043

Table 6 内包量の保存問題

群	固体-ロウの密度			液体-サラダ油の密度		
	小	大	同	少	多	同
A	5	4	32	4	5	32
B	0	4	42	0	5	41

Table 7 密度一文(5文)正誤問題正答率

群	量との関係-1	量との関係-2	量との関係-3	単位当たり量	物質特定
A	95.1	70.7	97.6	68.3	39
B	97.8	91.3	95.7	91.3	52.2

Table 8 従ルール問題一浮き沈み判断理由

群	量	密度	量と密度	計
A	1	38	2	41
B	0	43	3	46

Table 9 浮き沈み・密度ルール信用度 (%)

群	平均値	標準偏差
A	77.7	17.9
B	88.4	16.0
t値=2.95		自由度=85
有意確率		0.004

両群に有意な差が見られる (Table 5-2)。B群の方がA群よりも、一貫正答者が有意に多いのである (カイ二乗値; 4.12 $p < .05$)。A群は、「ルール」が示され、それに従うよう指示されても、そのルールの適用としてこの問題群を一貫的に解くことができない者が多くいると言えよう。

確かに、「浮き沈みの決定要因は何か」と問われれば (浮き沈み決め手選択問題)、その内容がルールとして明示され、且つそれに従うよう指示されているので、両群とも「密度」を選択する者が多い (A群; 38/41-約93% B

群; 43/46-約94%)。しかし、A群では、その「ルール」が必ずしも事例判断の基準として一貫的に活用されていない可能性がある。内包量の保存問題やもう1つの概念内包確認問題である「文正誤問題」で、その傾向が明白となる (Table 6・7 参照)。「文正誤問題」の“単位当たり量としての

密度 (密度=重さ÷体)”の正誤で、両群の正答率に明白な差が

見られるし、「内包量の保存問題」で、B群の正答率がやや高い (固体; A群-78%⇔B群-91% 液体; A群-79%⇔B群-89%)。

密度の“単位当たり量”的な理解は、「量と密度との次元間弁別の可否」と密接な関係があり、その“質”的な理解と別なものではないであろう。1つの物質の量的大小変化と密度との次元間弁別が強調されていないと、「密度」の内包量としての質的理解が不明瞭となり、結果、“単位当たり量”的理解も「保存」もできなくなる可能性が高いのである。ルール信用度判定でも、そのことが裏付けられる。

ルール信用度判定は、示されたルールの信用度をパーセントで問うものであるが、その数値がA B群で明確に異なるのである (Table 9)。また、80%以上信用すると答えた者をルール高信用者として、両群を比較したものが、Table 10である。明らかに、B群の方にルール高信用者が多い (カイ二乗値; 9.003 $p < .01$)。A群は、「どちらが上/下に来る (浮く/沈む) は、何によるのか」という問いに対しては、「密度」と答えられるが、それは、ルールが示されてそれに従うよう指示された結果に過ぎない可能性が高い。ルールを信用しない者 (低信用者) が、41名中17名もいる (約4割) のである。Table 11は、浮き沈み問題・一貫正答者とルール信用度の関係を見たものであり、Table 12は、浮き沈み判断基準とルール信用度

Table 10 群 × ルール信用度

群\ルール信用度	低	高	合計
A	17	24	41
B	6	40	46
合計	23	64	87
カイ2乗検定 カイ2乗	値 9.003	自由度 1	有意確率 0.0027

Table 11 従ルール指示後における事例課題一貫正答者とルール信用度との関係

ルール信用度\正答・一貫性			一貫正答者		非一貫正答者		計	
			全体		全体		全体	
			A	B	A	B	A	B
ルール信用度;高	全体		53		11		64	
	A	B	18	35	6	5	24	40
ルール信用度;低	全体		11		12		23	
	A	B	8	3	9	3	17	6
計	全体		64		13		87	
	A	B	26	38	15	8	41	46

Table 12 従ルール指示後における判断基準とルール信用度との関係

ルール信用度\判断基準			量		密度		量と密度		計	
			全体		全体		全体		全体	
			A	B	A	B	A	B	A	B
ルール信用度;高	全体		0		63		1		64	
	A	B	0	0	24	39	0	1	24	40
ルール信用度;低	全体		1		18		4		23	
	A	B	1	0	14	4	2	2	17	6
計	全体		1		81		5		87	
	A	B	1	0	38	43	2	3	41	46

との関係を見たものである。全体で見れば、ルール信用度の高い者は浮き沈み判断でも一貫して正答するし、また正しい判断基準（浮き沈みは密度によって決まる）を持っていると言って良い。しかし、群で見ると、その様相は異なる。B群では、この傾向は一層明確である。しかし、

A群は、必ずしもそう言えない結果となっている。B群では、判断基準に正しく「密度」を選んだものの43名中、39名がルール高信用者（約91%）なのに対し、A群は38名中24名にすぎない（約63%）。同じ「密度」と答えた者でも、その内実は異なるのである。一貫正答者も、同様

な傾向となっている（B群；35/38—約92%
A群；18/26—約69%）。『密度』と『量』との
弁別」を付け加えたテキストで学んだB群の
方が、物質密度概念の内包を充実させ、外延も
拡大させていると考えられる。

全体討論

以上の結果から、大学生において「密度」と
「量」との弁別が明瞭ではない者が一定数見ら
れ、そのために浮き沈み判断などの事例問題で
は、場当たりの解答に陥りやすい傾向があるこ
とがわかった。「モノの量（重さ・体積）に関
係なく、密度の小さいものが大きいモノに浮
く」という定性的な理解は、大学生において十
分ではなく、未知・既知に関係なく、「水に沈
むモノであっても極めて小さくすれば浮く」と
考えてしまうし、またその逆、「浮かぶモノで
あっても特大のサイズになれば沈んでしまう」
と考える者が、被験者である大学生の2割以上
存在したのである。これは、前回の調査とほぼ
同様な結果である。大学生において密度概念が
十分に理解されているとは言い難い事実が、今
回も確認されたと言えよう。

では、そのような状態—量と密度が未分化な
状態—の者にどう支援すれば密度概念が獲得さ
れるかであるが、この結果から、「量と密度の
次元間弁別の徹底」が1つの方向性を示してい
ると思われる。今回、A群も、確かに事前段階
に比して、テキスト読解後の正答率は上昇して
いる。しかし、それ以上に、B群の方が、密度
に関するルールの信用度及び実際の使用程度で、
優位となっている。密度の質的説明（物質特性
としての「密度」）だけでは、その操作性も含
め、十分にその獲得が支援できていない結果と
なっている。この説明と併せて、「（密度と）量
との次元間弁別」を強調する必要性が、確認さ
れたと言えよう。前述したように、佐藤は、小
学生への授業後、物質密度の理解には、2者間
の浮き沈みをそれらの重さ・体積を変化させな
がら実験的に確かめさせる「密度と重さ・体積
との次元間弁別の徹底」が重要だと述べている。
佐藤同様、小学生の物質密度概念形成を目指し
た荒井（1994）も、同様な実験の多用・適用訓
練の必要性を、「密度」授業後に指摘している。

今回は、テキスト読解方式だったので、彼らが
指摘した「実験」を行えていない。それでも、
この方略の有効性が見られたのである。密度の
定量的な学習（密度と2つの外延量—重さ・体
積—との関係性の把握までを含めた学習）と、
密度がその物質に固有なものであるという定性
的な学習を結びつけ、密度概念の包括的な学習
を支援するには、まさに「密度と量との次元間
弁別」の強調が、重要な方略となってくると言
えよう。今後は、佐藤・荒井の実践及び指摘を
受け、大学生に対しても「実験」を導入し、こ
の方略のさらなる確認をする必要があろう。

また、検討課題の第2の問題—ルールの論理
操作性と使用度の問題—である。今回、ルール
の信用度調査を行ったが、結果、その回答（信
用度）と事例判断や判断基準に大きな乖離があ
ることがわかった。大学生は、彼らが所持して
いるルールを温存したまま、指示されたルール
を論理操作としてのみ使用できるのである。そ
の意味では、立木・伏見が明らかにした事実が、
ここでも確認されたとも言える。単に事例課題
（外延課題）や判断基準課題（内包課題）だけ
から、ルールの獲得度合いを測ることは、危険
なのかもしれない。山岡（2003）は、「（誤概念
は）調査用の一連の問題によって誘発される」
と批判しているが、それは一面真理なのかもしれ
ない。荒井（2008）も、これまでの教授学習
研究は1～2題程度の課題によって学習者の理
論やモデルの保持・修正を推測しており、「（教
授学習過程研究は）対象とすべき場である授業
から遊離する方向に展開されてきている」とこ
レまでの研究手法を反省している。確かに我々
は、数少ない問題設定から、その回答結果だけ
を基に、適用範囲を限定せず、目標となる概念
の獲得状況を議論していたのかもしれない。

今後は、この調査結果を踏まえ、「実験」を
導入することも含め、「密度」に関するより多
くの関連事例問題を用意し、その概念獲得に関
する多角的な調査が求められると言えよう。

参考文献

- 荒井龍弥 1994 小学生の密度概念形成をめざした構
成法的研究 東北福祉大学研究紀要 18 p.239—
255

- 荒井龍弥 2008 大学生の回答一貫性にみるルール帰納および演繹の状態—植物の光合成を題材に— 仙台大学紀要 Vol.39 No.2. p.101-108
- Carey,S.&Spelke,E., 1994 Domain-specific knowledge and conceptual change In Hirschfeld,L.A.,&Gelman, S.A., (Eds) Mapping the mind : Domain specificity in cognition and culture Cambridge University Press Pb. p.169-200
- 藤村宣之 1990 児童期における内包量概念の形成過程について 教育心理学研究 38 p.277-286
- 麻柄啓一 1992 内包量概念に関する児童の本質的なつまづきとその修正 教育心理学研究 40 p.20-28
- 松田文子・永瀬美帆他 2000 関係概念としての「混みぐあい」概念の発達 教育心理学研究 48 p.1-11
- 永瀬美帆 2003 密度概念の質的理解の発達 教育心理学研究 51 p.261-272
- 斎藤裕 2002 短大生を対象とした内包量の理解に関する研究 県立新潟女子短期大学研究紀要 39 p.25-35
- 斎藤裕 2004 誤った知識の保持状況と修正過程に関する研究 (4.密度領域—「内包量」としての密度理解の調査、及びその学習方略への提言— H14・15年度科学研究費補助金 基盤研究(C) 研究報告書 p.47-60
- 佐藤康司 1991 教授ストラテジーの構成と改善に関する研究—「液体の密度」の学習について— 東北教育心理学研究 4 p.15-25
- 立木徹 伏見陽児 2006 テスト得点の伸びを抑制するのは誤概念なのか? 日本教育心理学会第48回総会発表論文集 p.253-254
- 牛島義友他 編 1982 教育心理学新辞典 金子書房
- 山岡剛 2003 素朴概念という用語とその内容について 理科教室 2003年6月号 p.1
- 連携研究者 工藤与志文 (札幌学院大学)、宇野 忍 (東北大学)、白井秀明 (東北福祉大学)、舛田弘子 (札幌学院大学)、佐藤康司 (盛岡大学)

【付記】

本研究は平成19・20年度科学研究費補助金(基盤研究(C))研究課題名:大学生の個別的課題解決傾向からの脱却をめざして(課題番号19530595)の助成を受けた。以下に研究組織を記す。

研究代表者 荒井龍弥

研究分担者 斎藤 裕 (県立新潟女子短期大学)、佐藤 淳 (北海学園大学)